

TD 157

Ana Elisa Spielberg

Werner Heisenberg

Presencia de la filosofía en la física moderna



USAL
UNIVERSIDAD
DEL SALVADOR

Universidad del Salvador

Año 2000



Directora de la Escuela de Filosofía: Lic. Ana Zagari

Director de Tesis: Dr. Edgardo Albizu

Tesista: Ana Elisa Spielberg



USAL
UNIVERSIDAD
DEL SALVADOR

Título de la tesis: *"Werner Heisenberg y la presencia de la filosofía en la física moderna".*

INDICE

Prólogo	4
Introducción	9

Primera parte

Algunas consideraciones históricas acerca de las transformaciones de la física acaecidas entre 1900 y 1927

Introducción	27
1. ¿Quién inicia la historia?	31
2. Tres formalismos a falta de uno	54

USAL
UNIVERSIDAD
DEL SALVADOR

Segunda parte

La "Escuela de Copenhague" y la necesidad de revisar críticamente la obra de Werner Heisenberg

3. Presentación del problema	75
4. Citas y fuentes citadas	81
5. La tesis del final del camino en física	103
6. La teoría de los quanta: ¿Wandlung? ¿Revolución?	118
7. Werner Heisenberg y la física alemana	126

Tercera parte

La presencia de la filosofía en la moderna física atómica

8. La nueva situación epistemológica: la escisión sujeto-objeto	144
9. La ampliación de lo "real físico" y la teoría de los estratos de la realidad	163
10. Causalidad y azar	186
11. La nueva legalidad de la naturaleza	207
12. Mutación de la imagen de naturaleza en la moderna física atómica	218
13. El lugar de la filosofía en la epistemología de Werner Heisenberg	228
14. A modo de epílogo	273



USAL
UNIVERSIDAD
DEL SALVADOR

PROLOGO

Esta investigación se inicia a partir de una curiosidad más bien semántica – saber cuál es la razón por la cual el teorema central de la teoría de los quanta - se traduce indistintamente por "relaciones de incertidumbre", "principio de indeterminabilidad" o "principio de indeterminación". Nadie puede pasar por alto que usar como equivalentes términos que no lo son, oculta, o mejor dicho, pone de manifiesto no sólo diversas sino hasta opuestas interpretaciones de lo que se pretende nombrar. Más si estas disparidades lingüísticas también se encuentran en su idioma de origen. Así, consultando al *Lexikon der Physik* sobre la teoría de los quanta, se puede leer que "Heisenberg en 1927 había armado su *Unschärferelation, Ungenauigkeitsrelation* o *Unbestimmtheitsrelation*".

Es cierto que los términos "*genau*" y "*scharf*" son términos que Heisenberg utiliza indistintamente para explicar que "en la teoría de los quanta resulta imposible determinar simultáneamente con exactitud – *Genauigkeit* - la posición y la velocidad de una partícula atómica", o que "de dicha teoría se desprende que una nítida – *scharfe* – determinación del lugar trae aparejada una infinita indeterminabilidad – *unbestimmtheit* – de la velocidad, pero este hecho ¿justifica la denominación tan equívoca de las relaciones o del principio? También es curioso constatar que si tradujésemos al idioma coloquial el término "incertidumbre" nos encontraríamos con "*Ungewissheit*" y, en el caso de "indeterminación" con "*Unschlüssigkeit*", palabras ambas que nunca aparecen en los textos de nuestro autor. Estas observaciones nos forzaron a recurrir a un breve análisis etimológico, con el objeto de descubrir un posible vínculo entre el nombre dado al cálculo y las diferentes interpretaciones que se han hecho del mismo.

De la mano de diversos diccionarios etimológicos y del insustituible Diccionario de Filosofía de José Ferrater Mora, nos encontramos ante el siguiente panorama: - La palabra "incertidumbre", del latín *incertum* -i, - falta de certidumbre - duda - perplejidad - se refiere indudablemente a la esfera del saber. Por eso será utilizada por todos aquellos físicos que suponen que la imposibilidad de predecir con exactitud el comportamiento del electrón singular se debe exclusivamente a problemas técnicos. En este caso, la "incertidumbre" se eliminará con el descubrimiento de un nuevo método, quedando de este modo a salvo la concepción determinista de la naturaleza. Albert Einstein se inscribe en esta postura¹ y David Bohm también puede representar una variante de la misma². - En cambio, para Pascual Jordan, quien considera que "esta imposibilidad no descansa solamente en una imperfección técnica de nuestros instrumentos sino se debe a la naturaleza misma"³, la expresión más adecuada sería "principio de indeterminación". - Finalmente quedaría la palabra "indeterminabilidad" por la que no se afirma la indeterminación de la naturaleza pero sí su posibilidad. O, dicho de otra manera, la imposibilidad de predecir con exactitud acontecimientos futuros del electrón se derivaría de la estructura de la teoría misma, por lo cual no sería evitable salvo que se prescindiese de ella⁴.

¿Dónde ubicar a la postura de Werner Heisenberg, que prácticamente en todos sus escritos utiliza la palabra "*Unbestimmtheitsrelationen*" para nombrar a éste, su cálculo? Heisenberg rechaza explícitamente la primera, tangencialmente

¹ Heisenberg, Werner, *Encuentros y conversaciones con Einstein*; Madrid, Alianza, 1985, pp. 34-35 y 126. También cfr. con Albert Einstein und Hedwing und Max Born *Briefwechsel 1916-1955*, op. cit. y Born, Max y Hedwing *Ciencia y conciencia en la era atómica*, Madrid, Alianza, 1971, pp. 128-138.

² Bunge, Mario, *La causalidad. El principio de causalidad en la ciencia moderna*; Buenos Aires, Sudamericana, 1997, pp. 35.

³ Jordan, Pascual, *La física del siglo XX*, México, Fondo de Cultura Económica, 1963, pp. 125.

⁴ Ferrater Mora, José, *Diccionario de Filosofía*, Madrid, Aguilar, 1958, pp. 1529.

alude a la segunda, y subraya - con especial énfasis - la tercera de estas interpretaciones.

Pero, en definitiva, ¿qué son las relaciones de incertidumbre? Son un cálculo, y el cálculo – dirá Heisenberg – “es la forma en que la física describe a la realidad”, agregando “que una proposición únicamente se traduce en física cuando se la puede expresar en fórmulas matemáticas”. Con ello queremos indicar que las turbulentas discusiones acerca de la “Escuela de Copenhague” no se centrarán sobre la autenticidad del formalismo de la teoría de los quanta, sino sobre su significado físico-filosófico, ofreciéndonos, de esta manera, un lugar privilegiado para examinar el siempre problemático vínculo entre física y filosofía.

Por otra parte, si en algún momento tuve la necesidad de justificar la legitimidad de incursionar sin una preparación especializada en un campo tan vigilado y acotado como es el de la física, obtuve del propio Heisenberg una respuesta positiva. El representa, sin lugar a dudas, una época donde los físicos teóricos retoman la filosofía⁵ – tan desprestigiada por los propios filósofos – para interpretar aquellos cálculos que dentro del marco conceptual de la física clásica resultarían ininteligibles.

Mis primeros trabajos sobre Heisenberg fueron presentados como ponencias en diversos congresos Nacionales e Internacionales y gracias a su buena acogida - me refiero al juicio de los Dres. Eduardo Flichman, Ricardo Gómez y Gregorio Klimosky – me vi estimulada a continuar con los mismos. Desde luego que sin las clases de Cosmología dictadas por el Padre Alas en la Facultad de Filosofía de la

⁵ Einstein, Albert, Hedwing und Max Born *Brifwechsel 1916-1955*, München, Nymphenburger, 1969. En su carta a Max Born Einstein comenta su lectura de los Prolegómenos de Kant y su opinión sobre David Hume. También escribe: “*Das mit der Kausalität plagt mich viel. Ist der quantenhafte Licht-Absortion und Emission wohl jemals im Sinne der Vollständigen Kausalitätsforderung erfäßbar oder bleibt ein statistischer Rest?*”

Universidad del Salvador, el modelo del rigor filosófico encarnado en el pensamiento del Dr. Edgardo Albizu, y el afectuoso acompañamiento del Dr. Bernardo Nante, esta investigación no se hubiera podido llevar a cabo. Una mención especial por su invulnerable ayuda y sobre todo su confianza depositada en esta dificultosa empresa, es para la Profesora Celia Lynch Pueyrredon.



USAL
UNIVERSIDAD
DEL SALVADOR

INTRODUCCION

La incidencia de la teoría de los quanta en la epistemología del siglo XX resulta innegable, dado que prácticamente no existe epistemólogo que no la nombre. Desde Karl Popper, quién defenderá su propia postura contraponiendo reiteradamente su tesis a la de la "Escuela de Copenhague"⁶, pasando por Thomas Kuhn cuya obra - *La teoría del cuerpo negro y la discontinuidad cuántica*⁷ - seguramente permanecerá como una de las obras más rigurosas sobre la historia de la elaboración de la antigua teoría de los quanta, hasta Gastón Bachelard que considerará al período que se extiende desde fines del siglo VIII hasta comienzos del XX como un estado científico en preparación para el *nuevo espíritu científico* presente en la mecánica cuántica, "*deformadora de conceptos primordiales que se creían fijados para siempre*"⁸.

Por otra parte, las arduas disputas alrededor de esta teoría - aún no silenciadas - dan cuenta de que no se trata de una teoría más de la física - hoy llamada clásica - sino que conforma, junto a la teoría de la relatividad, lo que se conoce por física moderna. Es necesario aclarar que nuestra investigación no se propone buscar elementos para adherir a alguno de los dos bandos en pugna - conocidos bajo los nombres de heterodoxos y ortodoxos - sino examinar el pensamiento de uno de los integrantes más conspicuos de la llamada "Interpretación de Copenhague", que es Werner Heisenberg. Pero dado que el *principal arquitecto de la mecánica cuántica en su versión de Copenhague* es

⁶ Popper, Karl, *Teoría cuántica y el cisma en física*, Madrid, Tecnos, 1985

⁷ Kuhn, Thomas, *La teoría del cuerpo negro y la discontinuidad cuántica 1894-1912* - Madrid, Alianza, s/l.

⁸ Bachelard, Gastón; *La formación del nuevo espíritu científico*, Buenos Aires, Siglo XXI, 1985, pp.

Niels Bohr y no Werner Heisenberg, cabe la pregunta porqué elegimos a este último como objeto de nuestra investigación.

Sin desconocer que fue Niels Bohr quien imprimió el "espíritu de Copenhague" [*Kopenhagener Geist*] al Instituto de Física Teórica de Copenhague⁹, su aporte físico a la nueva teoría de los quanta no forma parte, sin embargo, de su núcleo más polémico, lo que a su vez explica la razón por la que habría abortado la propuesta de llamar a esta teoría "Teoría de la complementariedad". Pero, si bien es cierto que el eje crítico de la "Escuela de Copenhague" se compone por la interpretación probabilística que hace Max Born de la onda ψ de Schrödinger y, de las llamadas "relaciones de incertidumbre" de Werner Heisenberg, la pregunta - por qué elegimos a uno y no al otro - seguiría en pie en tanto que no nos proponemos redactar un manual de Física Cuántica.

Abundantes y hasta coincidentes son las referencias que se encuentran en la literatura epistemológica sobre el pensamiento de ambos físicos, pero difieren llamativamente en su tratamiento. Mientras que al pensamiento de Niels Bohr se lo caracteriza sin necesidad de transcribir pasajes de su obra, son notorias las citas con las que se pretende fundar la interpretación que se hace del pensamiento heisenbergiano. Y este hecho, que en apariencia haría superflua nuestra propia investigación, la justifica.

Ningún lector puede dejar de reparar en la cantidad de motes disímiles que se adjudican a su pensamiento, de tal manera que, o se lo descarta por irracional, incongruente y poco serio, o se lo examina minuciosamente para descubrir el motivo de semejantes distorsiones.

⁹ Weisskopf, Viktor, *La física del siglo XX*, Madrid, Alianza, pp. 65

¿Cómo se explica, por ejemplo, que alguien que nunca descalificó a ninguna posición filosófica, salvo al positivismo, sea tildado de positivista? ¿Por qué se le recrimina fluctuar entre el instrumentalismo y un idealismo bastante vergonzante? Y, por último ¿cuál sería el motivo por el que se lo acusa de haber introducido el *culto anarquista del ininteligible caos en el interior de la física moderna*¹⁰, si su esfuerzo se centrará en resolver precisamente las paradojas que muestran los experimentos de la atomística? Porque si bien es cierto, que el pensamiento de Heisenberg, puede dar lugar a diversos equívocos, también es cierto que una atenta lectura de su obra permite rectificarlos en tanto que él mismo reiteradamente los denuncia. Por eso y sin caer en un mero ejercicio refutacionista, hemos utilizado estos "estigmas" como una especie de encofrado para dar forma a los contenidos centrales de esta investigación, y a la vez, transformada la dificultad en método, servimos de ella para abrir una brecha entre lo que se dice de su pensamiento y lo que él – Heisenberg – pretende decir.

Por otra parte, debido a que los malentendidos y equívocos no sólo se encuentran en sus detractores sino también en sus adherentes, hemos debido descartar toda mala intención o descuido voluntario. De ahí que nos hemos visto obligados a averiguar qué aspectos del propio pensamiento heisenbergiano habrían favorecido este aparente enmarañamiento de sus ideas.

Por último, tomando en cuenta el contexto académico – cultural en el que Heisenberg elabora sus soluciones físicas y epistemológicas, no es trivial subrayar su respeto puesto de manifiesto por todo saber, incluso el saber no científico. Es probable, entonces, que su férrea oposición a toda actitud científicista bien pudo haberle valido rechazos viscerales que seguramente

¹⁰ Lakatos, Imre; "La falsación y la metodología de los programas de investigación" en *La crítica y el desarrollo del conocimiento*, I, Lakatos y A. Musgrave, Barcelona, Grijalbo, (1975), pp. 256-257

favorecieron la subsistencia de lo que él mismo calificara como *Verzerrungen* [deformaciones] de su pensamiento.

David Cassidy, quien volcará su rigurosa investigación sobre Heisenberg en su libro *Uncertainty. The Life of Werner Heisenberg*, afirmará que: "Tal como hemos comprobado, Heisenberg nunca se ocupó seriamente con preguntas filosóficas y cuando se expresaba acerca de ellas siempre se debía a algún evento"¹¹. Es cierto que el único texto que Heisenberg escribe como libro es su escrito autobiográfico titulado: *Der Teil und das Ganze*, ya que el resto de sus ensayos son compilaciones de conferencias, artículos o cursos dictados en diversas universidades. Pero este hecho ¿es suficiente como criterio para juzgar la validez de su obra epistemológica? Así, por ejemplo, G. Rasche y B. L. Van der Waerden, en su introducción al libro de Heisenberg *Wandlungen in den Grundlagen der Naturwissenschaft*, titulada "Werner Heisenberg und die moderne Physik" señalarán que para Heisenberg la física y la filosofía se encuentran inextricablemente vinculadas, citando su dicho "buena física podría arruinarse por mala filosofía" [*Gute Physik (kann) unbewußt durch schlechte Philosophie verdorben werden*]. Y, agregan: "después de la creación de la mecánica de los cuanta (Heisenberg) ha trabajado incansable y pacientemente para describir con total claridad las consecuencias filosóficas de esta teoría a los no físicos"¹².

Por otra parte tampoco resulta un argumento convincente rechazar sus "*Allgemeinverständliche Schriften*" por considerar que al ser "*Allgemeinverständlich*" [comprensibles para la generalidad] carecerían de seriedad o incluso de hondura epistemológica.

¹¹ Cassidy, David, *Uncertainty. The Life of Werner Heisenberg*, trad. al alemán por Andreas y Gisela Kleinert bajo el título *Werner Heisenberg. Leben und Werk*; 1992, Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg, Berlin, Oxford, pp. 547

¹² Heisenberg, Werner, *Wandlungen in den Grundlagen der Naturwissenschaft*, 1980, S. Hirzel Verlag Stuttgart, pp. XXIX

Heisenberg nunca se arroga el título de filósofo ni de historiador de la ciencia, pero sí podría corresponderle la definición de Jean Piaget, quien entiende por epistemólogo contemporáneo a aquel científico cuyo interés es reflexionar sobre los fundamentos de su propia ciencia. Y demás está decir, que este interés de Heisenberg por las reflexiones filosóficas es compartido con casi todos los físicos que elaboran la teoría de los quanta¹³. En síntesis, queremos dejar en claro que ésta - nuestra investigación - no se centra como la de David Cassidy, en su vida personal y profesional, sino únicamente en aquello que precisamente éste ha dejado de lado, a saber, sus reflexiones sobre las consecuencias epistemológicas de esta teoría.

La preocupación de Heisenberg por los *Erkenntnistheoretische Probleme* de la teoría de los quanta, ha posibilitado dividir su obra en dos sectores bien definidos: Sus "*Wissenschaftliche Originalwerke*" y sus "*Allgemeinverständliche Schriften*"¹⁴. De sus *Wissenschaftliche Originalwerke* utilizamos solamente su texto más conocido: *Die physikalischen Prinzipien der Quantentheorie*¹⁵, en cuyo prólogo podemos leer que se ha dado "(...) por satisfecho con el mínimo de fórmulas y cálculos"¹⁶ y, haber puesto en su exposición especial énfasis sobre los mismos derechos que posee la representación corpuscular y ondulatoria,

¹³ Una excepción la constituye Arnold Sommerfeld de quien Max Born dirá en *Obituary Article on Arnold Sommerfeld*, *Obituary Notices of Fellow of The Royal Society*, 8, núm. 21, pp. 285-186 "Sería más sencillo redactar una lista de físicos teóricos ilustres que no fuesen discípulos de Sommerfeld que hacerla de aquellos que sí lo fueron" - aclarando que - "en cuyos textos no se encuentran ni problemas epistemológicos ni metafísicos".

¹⁴ Dado que nuestra investigación no es una investigación historiográfica de su obra no podríamos garantizar que en sus *Gesammelte Werke* - editados por Dr. Walter Blum, Prof. Dr. Hans-Peter Dürr y Dr. Helmut Reichenberg - se encuentren la totalidad de sus *Allgemeinverständlicheschriften*.

¹⁵ En este ensayo se compilan *Vorlesungen* [cursos] dictadas en la Universidad de Chicago durante la primavera de 1929.

¹⁶ Heisenberg, Werner, *Die physikalischen Prinzipien der Quantentheorie*, Unveränd. Nachdr. - Mannheim;Wien;Zürich: BI-Wiss.-Verlag, 1991, pp.V (...) *Im eigentlichen Text habe ich mich bemüht, mit den elementarsten Formel und Rechnungen auszukommen, soweit dies irgendwie angängig schien*"

"expresada claramente en el *formalismo* de esta teoría"¹⁷. Subrayamos esta interpretación heisenbergiana, para señalar la diferencia con alguno de sus contrincantes - caso Mario Bunge - que calificará a la "Escuela de Copenhague" como *deudora de una filosofía obsoleta (que) contiene metáforas clásicas innecesarias*, rechazando esta representación dual, *por conducir a las paradojas e incluso a las contradicciones*¹⁸.

Pero ¿qué decir de sus "*Allgemeinverständliche Schriften*" sabiendo que forman parte del material primario de nuestra investigación? "*Allgemeinverständliche Schriften*" significa, en principio, escritos que no requieren para su comprensión del lenguaje propio de la física - el cálculo matemático - lo que no implica que sean realmente - *allgemeinverständlich* - ni que se definan por dirigirse exclusivamente a los legos en física. Quizás este equívoco haya dado lugar a que los físicos dedicados a la epistemología, no les prestaran suficiente atención, conformándose con repetir una y la misma cita que, despojada de su contexto, pareciera haber sellado para siempre su pensamiento bajo la tilde de irracional. Pero, acaso ¿no resulta hasta sospechoso que justamente aquellos epistemólogos que rechazan cualquier interpretación de esta teoría *cuando el autor no es un físico*, descalifiquen esta interpretación de los físicos que crean la teoría de los quanta? Porque convengamos que la ventaja de examinar una figura como la de Heisenberg es la de no tener que enfrentarnos con las mutuas recriminaciones que suelen depararse filósofos y físicos. Heisenberg no le pedirá nunca a la física lo que es propio de la filosofía ni le reprochará a la filosofía no ser física, lo que, a su vez, no lo inhibirá de expresar su convicción más profunda,

¹⁷ Ibid., "(...) die Gleichberechtigung der Korpuskularer und der Wellenvorstellung (...) die ja auch im Formalismus der Theorie klar zum Ausdruck kommt".

¹⁸ Cfr. Bunge, Mario: *Controversias en física*, Madrid, Tecnos, 1983 pp.128

a saber, que la ciencia siempre nace en discusión, en la frontera con la filosofía, allí donde la parte - *der Teil* - forma parte del todo - *das Ganze* -.

Pero así como nadie puede dudar de la probidad de Heisenberg como científico¹⁹, ¿qué sucede con Heisenberg epistemólogo? La pregunta que recorre todos sus "*Allgemeinverständliche Schriften*" es, sin duda, aquella que se refiere a las condiciones - matemáticas, físicas y filosóficas - que impiden reducir a la teoría de los quanta a una teoría más de la física vigente hasta principio del siglo XX. Dicho de otro modo, Heisenberg, al reflexionar sobre las nuevas situaciones epistémicas que genera la teoría de los quanta, se colocará en el territorio fronterizo, es decir, *en el límite que introduce la barrera y conduce a la transformación de la ciencia*²⁰. Y, este sobrepasamiento que, según el Dr Edgardo Albizu, es la forma en que colinda la filosofía con la ciencia²¹, es el que podrá ser visto con toda claridad en éstos, sus escritos. Así, para Heisenberg uno de los rasgos más característicos de la transformación de los fundamentos de la moderna física atómica "es haber vuelto a su conciencia originaria de autolimitación", agregando que: "El contenido filosófico de la ciencia sólo queda garantizado cuando ésta es conciente de sus límites". De ahí que Heisenberg siempre que reflexiona sobre la ciencia lo haga de la mano de la filosofía y cuando toma en cuenta a la filosofía nunca perderá de vista a la ciencia.

Por otra parte, el planteo que hace Wilhelm Szilasi en su libro *Wissenschaft als Philosophie* también puede dar cuenta de la obsesión de

¹⁹ Conocida es la amargura de Max Born por no haber recibido junto al joven Heisenberg el Premio Nobel de Física de 1932, y sin embargo no dudará en subrayar que "he podido superarla porque he sido consciente de la *Überlegenheit* [superioridad] de Heisenberg". Cfr. Albert Einstein, Hedwig und Max Born *Briefwechsel 1916-1955*, München, Nymphenburger Verlag, 1969 pp. 304

²⁰ Albizu, Edgardo "De la demarcación externa a la transformación interna de la ciencia" *Anales de la Academia Nacional de ciencias de Buenos Aires* 1998, pp. 21

²¹ Szilasi, Wilhelm, *Wissenschaft als Philosophie*, trad. en español *¿Qué es la ciencia?* México, F.C.E. 1956, pp. 25

Heisenberg físico, por esclarecer la mutación que se produce en la "imagen de la naturaleza" presente en la física clásica a raíz de la moderna física atómica.

Dado que "el concepto previo de lo que quiere decir naturaleza" no sólo delimita un campo (de la ciencia) como "proyección de un sistema conceptual", sino que también "sirve de fundamento a la ciencia"²², la conmoción que embarga al físico cuando se transforman algunos de estos conceptos de la naturaleza - sobre el que descansa toda la labor y la interrogación concreta de la ciencia - explica la crisis en la ciencia.

Importante es remarcar que lo dicho por Szilasi sobre esta crisis: "La crisis de la ciencia se caracteriza por las dudas en cuanto a la capacidad de rendimiento de un sistema de comprensión del que disponemos" y, que "(...) esta crisis no representa una renuncia de la realidad sino un esfuerzo por hacer asequible al conocimiento lo que ella es"²³, concuerda con el esfuerzo que hace Heisenberg por dilucidar esta nueva concepción de realidad que aparece gracias a la teoría de los quanta. También ambos coinciden cuando vinculan el cambio en la concepción de la realidad con la idea de que "las leyes clásicas no son tan generales que se refieran a la naturaleza como un todo"²⁴. Precisamente Heisenberg reiterará que esta limitación de los conceptos básicos de la física clásica es la que permitirá ampliar, es decir, "enriquecer la realidad de lo real físico"²⁵.

Pero donde no concuerda Wilhelm Szilasi con Heisenberg es cuando considera - sin nombrarla - que la "Escuela de Copenhague" es una interpretación peligrosa "que convierte a la física en una pura construcción mental o que espiritualiza la realidad (es decir, que la convierte en algo puramente

²² Ibid., pp. 40

²³ Ibid., pp. 48

²⁴ Ibid., pp. 83

mental) y conduce a abandonar el campo objetivo, temático, en una indefinida vaguedad"²⁵.

De ahí que la inquietud que nos condujo a esta revisión del pensamiento de Werner Heisenberg haya sido, precisamente, averiguar si este pensamiento realmente desemboca en lo que Wilhelm Szilasi no sólo llama "indefinida vaguedad" sino también caracteriza como "interpretaciones (...) que son más bien expresión de una conmoción psíquica, producida por el alud de nuevas y nuevas concepciones (...) comparables más bien a los mitologemas"²⁷.

La tesis que proponemos como consecuencia de esta investigación es que el pensamiento de Werner Heisenberg solamente puede ser comprendido si no se lo reduce a una de las múltiples tildes provenientes de las diferentes corrientes filosóficas de nuestra tradición, como ser: objetivista, subjetivista, pragmatista, operacionalista, idealista, positivista, realista, etc. Tampoco creímos que un pensamiento tan claro y cristalino pudiese encuadrarse en una postura meramente ecléctica, donde todas las interpretaciones puedan ser válidas, convirtiendo su pensamiento en una suma de cualquier tipo de "ismos" imaginables.

Por otra parte, será Gastón Bachelard, quien en su libro *El nuevo espíritu científico*²⁸, llamará la atención cómo en un tono pedagógico Heisenberg en el capítulo II "Kritik der physikalischen Begriffe des Partikelbildes" y en el capítulo III "Kritik der physikalischen Begriffe des Wellenbildes" de su libro *Die physikalischen Prinzipien der Quantentheorie* examina dialécticamente la dualidad onda-

²⁵ Ibid., pp. 79

²⁶ Ibid., pp. 78

²⁷ Ibid., pp. 78-79

²⁸ Bachelard, Gastón; *El nuevo espíritu científico*, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, pp. 86.

corpúsculo²⁹. Sin profundizar en este antecedente - por el cual Heisenberg podría ser considerado como uno de los físicos que habrían introducido el movimiento dialéctico en el terreno de las ciencias exactas - pondremos solamente de relieve este proceder dialéctico en el ámbito de sus reflexiones epistemológicas. Porque es en este ámbito donde su frase: "El que quiera comprender los fundamentos que sostiene a la física atómica debe rastrear la historia desde su origen" [*Wer das Grundanliegen der Atomphysik verstehen will, muß die Geschichte ins Ursprungs verfolgen*]³⁰ resulta ser más que una simple frase, ya que indica qué lejos se encuentra de la concepción que Herbert Butterfield definiera con los términos de "escritura ahistórica de la ciencia"³¹, y marcar su cercanía con la postura de Bogumil Jasinowski, para quien "la ciencia de hoy no parece poder eliminar a su propia historia"³². Esto no excluye, desde luego, que también podamos vincular su perspectiva historiográfica con aquella postura primigenia de los griegos, para quienes la historia de la ciencia era una parte del conocimiento científico³³, o con la de G. W. Leibniz, cuando éste interpretaba a la historia de la ciencia como una contribución al "arte de descubrir"³⁴.

Por otra parte, dado que Heisenberg en su conferencia "Die Anfänge der Quantenmechanik in Göttingen"³⁵, subraya que no quiere asumir el papel del

²⁹ El procedimiento que Bachelard pone a descubierto es el siguiente: examinar la imagen corpuscular "presuponiendo sin crítica, como verdadera a la imagen ondulatoria" y, viceversa, partir de la descripción corpuscular "que se supone correcta y construir, criticándolas a las nociones ondulatorias" *Ibid.*, pp. 86

³⁰ Heisenberg, Werner; "Die gegenwärtigen Grundprobleme der Atomphysik" en *Wandlungen in den Grundlagen der Naturwissenschaft*; Zürich: S. Hirzel. 8. Auflage, 1949 pp. 89

³¹ *Ibid.*, pp. 126

³² Citado en *Diccionario de Filosofía* de José Ferrater Mora, Buenos Aires, Ed. Sudamericana, 1958, pp. 356

³³ Cfr. Kragh Helge *Introducción a la historia de la ciencia*, Barcelona, Grijalbo, 1989, pp. 9

³⁴ *Ibid.*, pp. 14

³⁵ En Werner Heisenberg; *Tradition in der Wissenschaft. Reden und Aufsätze*. München, R. Piper Verlag, 1977 pp. 43-60. Trad. cast. Encuentros y conversaciones con Einstein y otros ensayos, Madrid, Alianza, pp.40-62

historiador sino “esbozar un cuadro subjetivo, narrar detalles que no están en los libros de historia, decir qué pasos me parecieron a mí más importantes, aunque esta importancia quizás mereciera juicio muy distinto desde el punto de vista objetivo”³⁶, decidimos recurrir a historiadores de la ciencia para trazar una breve historia de la elaboración de la teoría de los quanta y que bajo el título “Consideraciones históricas para comprender la transformación de la física entre 1900-1927” integra la primera parte de nuestra investigación.

En cuanto a la segunda parte – “La “Escuela de Copenhague” y la necesidad de revisar el pensamiento de Werner Heisenberg” – ingresamos en su pensamiento pero con el objetivo de denunciar los malentendidos y equívocos más divulgados y mostrar no sólo cómo han sido posibles sino también cómo pudieron pervivir hasta nuestros días.

En la tercera parte, titulada: “La presencia de la filosofía en la moderna física atómica”, examinaremos sus textos con el objetivo de mostrar la positividad de sus reflexiones lindantes con el conocimiento de la física. Dicho de otro modo, pondremos de relieve cómo se modifican los sistemas conceptuales de la mecánica clásica debido a la mecánica cuántica, en las nociones de “sistema físico”, “estado de un sistema”, “causalidad y azar”, etc.

Dedicamos un apartado especial a la “*Schichtentheorie der Wirklichkeit*”, que Heisenberg adopta de J. W. Goethe, y que a partir de 1943³⁷ reemplazará por la noción de “realidad compuesta de diferentes *Erfahrungsbereiche* [dominios de la experiencia] y de un mundo interpretado como un complicado tejido de

³⁶ Ibid., pp. 44

³⁷ La última referencia a la *Schichtentheorie* de Goethe aparece en la sesión 1044 de la *Mittwoch-Gesellschaft* llevada a cabo el 30 de junio de 1943

*acontecimientos en los que las relaciones de diferente clase alternan, o se superponen, o se combinan y determinan así la contextura del todo*³⁸.

Por último en el apartado: "El lugar de la filosofía en la epistemología de Werner Heisenberg" nos dedicaremos a los fundamentos gnoseológicos y ontológicos que le permitirán sostener esta ampliación de lo real físico y a las características de la nueva legalidad [*Gesetzlichkeit*] que se instaura por la moderna física atómica. También examinaremos el papel que le cupo en su obra la filosofía crítica de Kant y el motivo por el que retomará el *Timeo* de Platón como una filosofía contrapuesta al atomismo de Demócrito.

Ahora bien, si preguntamos cuál es el marco dentro del que se mueve el pensamiento heisenbergiano y que hace que resulten ininteligibles para los epistemólogos anglosajones sus argumentos - caso Bernard Cohen quien tras examinar su texto: *Wandlungen in den Grundlagen der exakten Naturwissenschaft in jüngster Zeit*, le reprochará hacer "puras declaraciones en las que no se dan ejemplos ni argumentos"³⁹ - podemos responder que es por su proximidad al pensamiento romántico. De ahí que no nos parezca meramente anecdótico señalar que en las traducciones españolas e inglesas el título de su libro *Der Teil und das Ganze* sólo aparece bajo su subtítulo: *Gespräche im Umkreis der Atomphysik*.

Por otra parte, si bien Heisenberg suprimirá en sus textos la noción de "*Schichtentheorie der Wirklichkeit*", conservará de Goethe su idea de "*Urpflanze*", como forma universal de la que todas las demás formas habrían derivado. Esta *Urpflanze* [protovegetal] no es un ser elemental ni primitivo sino altamente complejo, dado que incluye el todo, es decir, que cada parte, no sería más que

³⁸ Heisenberg, Werner, *Física y Filosofía*, Buenos aires , La Isla, 1959, traducido del inglés por Fausto de Tezanos Pinto, pp.86.

³⁹ Cohen, Bernard, *Revolución en la ciencia*, Barcelona, Gedisa, 1989, pp. 469

"una variación del todo"⁴⁰, idea que él traducirá en la física bajo la búsqueda de una *Weltformel*.

También encontramos como rasgo del pensamiento romántico su necesidad de vincular la ciencia con el arte, o mejor dicho con lo bello. La antigua definición – *Das Schöne als Übereinstimmung der Teile untereinander mit dem Ganzen* – se encontraría en íntima relación [*enger Zusammenhang*] con el reconocimiento de un principio formal unitario [matemático] que permite la comprensión de la colorida diversidad de los fenómenos [*der bunten Mannigfaltigkeit der Erscheinungen*]⁴¹.

Pero donde el sesgo romántico se revela con mayor pujanza es en el vínculo que Heisenberg reconoce entre la ciencia y la filosofía y por el cual se puede inferir de todos sus escritos que, si bien es posible preservar siempre a la física de una determinada filosofía, no es posible pensarla sin una filosofía. Por eso aquellos que rechazan la interpretación filosófica que hace Heisenberg del formalismo de la teoría de los quanta, no lo hacen en nombre de la física y sí, en cambio, de una filosofía que se asienta exclusivamente en la esperanza de que algo nuevo suceda en la física o en la técnica para poder así salvaguardar a la física de una filosofía que ellos llaman caduca, pero que para Heisenberg reemplaza a la que ya habría caducado.

Para probar esta afirmación basta cotejar la línea argumental de Mario Bunge con la de Heisenberg al tratar ambos la tesis de David Bohm.

En principio, para Heisenberg, la palabra "real" significa "cosa" [*Ding*] y en contra de muchas de las interpretaciones que pretenden basarse en la "Interpretación de Copenhague", las cosas para Heisenberg están en el espacio tridimensional y

⁴⁰ Gode von Aesch, Alexander, *El romanticismo alemán y las ciencias naturales*, Buenos Aires, Espasa-Calpe, 1947, pp.174

no en un abstracto espacio de configuración"⁴². De ahí que Heisenberg rechace la noción "real" que Bohm atribuye a la órbita que depende de la historia del aparato y el sistema, historia que contendría los famosos parámetros ocultos, "la órbita actual" antes del comienzo del experimento"⁴³. Pero, ¿cuál es el precio que deberá pagar Bohm para poder considerar que no es necesario abandonar la descripción precisa, racional y objetiva de los sistemas individuales en el reino de la teoría de los quanta? El precio es crear "una "superestructura ideológica" que tiene poco que ver con la realidad física inmediata" y que Bunge en el prologo de 1997 a su libro *La causalidad* (1959) acepta como una alternativa válida para no tener que renunciar al determinismo newtoniano⁴⁴. Desde luego que sería un despropósito acusar de "fenomenista" o "positivista" a Heisenberg cuando rechaza desde la física a estos "parámetros ocultos de Bohm, en tanto son "de tal naturaleza que pueden no presentarse nunca en la descripción de los objetos reales, si la teoría cuántica permanece invariable"⁴⁵.

En síntesis la apuesta de Bohm - para salvar "por entero al principio de causalidad" - radica en creer que en el futuro "los parámetros ocultos puedan tener una participación física y que así se pueda probar la falsedad de la teoría cuántica"⁴⁶.

Es cierto que en su ensayo - *Controversias en física* - editado en 1983, Bunge acepta que si se introducen coordenadas extra de posición ("ocultas"), como ha hecho Bohm (1952), lo que se "construye es una teoría diferente que

⁴¹ Heisenberg Werner "Die Bedeutung des Schönen in der exakten Naturwissenschaft" en *Ensemble 2* (1971) S. 228-243, pp. 232

⁴² Ibid., pp.108

⁴³ Ibid., pp. 108

⁴⁴ Mario Bunge, *La causalidad, El principio de causalidad en la ciencia moderna*, Buenos Aires, Ed. Sudamericana, 1997, pp. 35. Título de la obra original *Causality*, Cambridge, Massachusetts, Harvard University Press, 1957

⁴⁵ Ibid., pp. 109

⁴⁶ Ibid., pp. 109

tampoco explica o suprime las desigualdades de Heisenberg"⁴⁷, y llega a la conclusión de que los micro-objetos no son ni partículas ni ondas clásicas sino "objetos *sui generis* de una clase desconocida para la física clásica".

Pero en este caso, aún cuando Bunge agregue enfáticamente: "Por eso precisamente, Heisenberg, junto con Born, De Broglie, Dirac, Schrödinger y algunos otros tuvieron que inventar una teoría radicalmente nueva para dar cuenta de ellos. Las cosas nuevas merecen nuevos nombres. ¿Por qué no *cuantones*, o quizás *particuantas* (Lévy-Lablong, 1973), o incluso *heisenbergones*?"⁴⁸. Desde luego que podemos preguntar si este planteo concuerda con el de Heisenberg, pero responder esta pregunta en este lugar solamente daría pie a alimentar los malentendidos y equívocos que esta investigación pretende denunciar. Por eso citaremos solamente el comentario que le merece a Heisenberg esta postulación de entidades varias: "La adscripción o no de realidad física a tales cálculos – dice en *Die physikalischen Prinzipien der Quantentheorie* – relativos a la historia pasada del electrón, es una cuestión de creencia personal".

Por último, en cuanto a nuestro método de investigación, hemos continuado con aquél que inaugurara Alexandre Koyré, ya que no vimos otra forma de probar nuestra tesis que la de hacer presente al mismísimo pensamiento heisenbergiano. Dicho de otra manera, esta investigación no es más que una exposición que enhebra aquellos pasajes de su obra que nos permitirán mostrar no sólo las *Verzerrungen* de su pensamiento sino aquellos argumentos en apariencia invisibles a los ojos de sus contricantes y adherentes.

⁴⁷ Bunge, Mario, *Controversias en física*, Madrid, op. cit. pp. 194

⁴⁸ *Ibid.*, pp. 19.

Pero esta demostración nos creó una dificultad adicional: ¿Cómo traducir las palabras claves de su epistemología para que no sean asimilables al léxico usual del neopositivismo?

Para impedir esta deformación decidimos transcribir la mayoría de los pasajes citados en su idioma original y permitir de esta forma que el lector no sólo evalúe nuestra traducción sino que también pueda examinar dichos pasajes directamente. Por otra parte, la traducción como tal también resultó ser relevante debido a los textos que elegimos como material primario de nuestra investigación y que no fueron sus escritos más conocidos como: *Die physikalischen Prinzipien der Quantentheorie*, *Física y Filosofía*, *Diálogos sobre la física atómica* y *Encuentros y conversaciones con Einstein* y otros ensayos, sino sus manuscritos inéditos hasta 1964 ya que en ellos encontramos las claves más significativas para interpretar los aspectos filosóficos en los que se sustenta su postura epistemológica.

En síntesis, si bien es cierto que a lo largo de esta investigación hemos podido detectar algunos deslizamientos en su prosa y comprobar que su pensamiento no es lineal, no los utilizamos para erigir un oponente ideal, fácilmente refutable, o caso contrario, legitimar ideas en su nombre que difícilmente serían toleradas por la comunidad científica, sino que decidimos buscar en el vaivén inevitable de su decir y desdecirse, un aporte original al tema que más le preocupa, a saber, la vinculación de la física con la filosofía. Pero dado que este vínculo lo expresa en las modificaciones de los basamentos filosóficos de la física clásica en la moderna física atómica, su aporte será sistemáticamente ignorado [deformado] por la epistemología neopositivista. De ahí que nos haya parecido adecuada la descripción que hace Dyson del estudiante que se inicia en la mecánica cuántica en las casas de altos estudios:

"El estudiante comienza aprendiendo los trucos del oficio (...) luego empieza a sentirse preocupado porque no comprende lo que está haciendo. Esta etapa a menudo se prolonga seis meses o más, y es agotadora y desagradable. De repente, de manera absolutamente inesperada (...) el estudiante se dice a sí mismo: "Comprendo la mecánica cuántica, o más bien: ahora entiendo que no hay nada que entender"⁴⁹.



USAL
UNIVERSIDAD
DEL SALVADOR

⁴⁹ Citado por A. Landé en *Nuevos fundamentos de la mecánica cuántica*, Madrid, Tecnos, 1968

PRIMERA PARTE

ALGUNAS CONSIDERACIONES HISTÓRICAS ACERCA DE LAS TRANSFORMACIONES DE LA FÍSICA ACAECIDAS ENTRE 1900 Y 1927



"Wer das Grundanliegen der Atomphysik verstehen will, muß die
Geschichte ins Ursprungs verfolgen" W. Heisenberg

USAL
UNIVERSIDAD
DEL SALVADOR

INTRODUCCIÓN

Es difícil imaginar un terreno más propicio para emprender alguna investigación acerca del quehacer científico que aquél que nos ofrece la historia de la teoría de los quanta⁵⁰.

En primer lugar por la cantidad de testimonios que nos legaron sus protagonistas, es decir, los físicos teóricos y experimentales que intervinieron en su elaboración; en segundo lugar, por la proximidad temporal de este acontecimiento científico que, si bien podría impedir la aparente objetividad que brinda la distancia, permitiría una mayor comprensión de los problemas y conflictos que desvelaron a sus figuras principales; y en tercer lugar, por el desafío ante el que nos coloca la siguiente la pregunta: ¿Por qué razón la teoría más fértil de la historia de la física, a más de medio siglo de su creación, aún no ha logrado concitar unanimidad entre los científicos acerca de la interpretación de su formalismo?⁵¹

Rychard Feynman en sus célebres *Lecciones*⁵² afirma que el elemento básico de la teoría de los quanta lo constituye el experimento de la doble rendija⁵³.

⁵⁰ Quanta. m. pl. de quantum. En física, quantum es la unidad o cantidad indivisible discreta de energía, y quanta cada uno de los múltiplos exactos del quantum que se supone emiten los cuerpos radiantes.

⁵¹ En las discusiones que se generan alrededor de la teoría de los quanta los físicos utilizan la noción de "formalismo" en distintos sentidos: Para señalar la diferencia entre el esquema matemático y la interpretación física, o como las formulas que permiten al físico el calculo y su diferencia con la interpretación filosófica del mismo. Cfr. v. Weizäcker Carl Friedrich; *Die Einheit der Natur*, München, Deutscher Taschenbuch Verlag, 1974, pág 224

⁵² Feynman, Richard; Física, *Mecánica cuántica*, Addison-Weloy Iberoamericano E.U.A., Vol.III, pág. 1-3

⁵³ Thomas Young, médico y físico Inglés, realiza a comienzos del siglo xix un experimento llamado de la doble rendija para investigar la naturaleza de la radiación luminosa. Utiliza como fuente

Este experimento que, aún hoy sume en el mayor desconcierto a los físicos, no puede ser explicado por la física clásica⁵⁴.

Efectivamente tal como se explica en el texto de Eisberg-Resnick: *Física Cuántica*, en la física clásica se considera que la energía se transporta o por partículas o por ondas, de tal manera que podemos afirmar que en ella se postula la existencia de dos categorías de objetos. Por un lado, las partículas consideradas como entidades discretas, localizables en todo momento, de forma precisa en el espacio, lo que en términos de la física significa poder describir su trayectoria, calcular su velocidad y su cantidad de movimiento, y por el otro, las ondas, fenómenos no localizables, es decir, continuos. Estos dos modelos, hasta la aparición de la teoría de los quanta, se los había extrapolado con éxito a regiones "menos accesibles al ojo humano" como por ejemplo la propagación del sonido en base al modelo ondulatorio y la presión de los gases, utilizando el modelo corpuscular.

Ahora bien, ¿en qué consiste el experimento de la doble rendija - citado reiteradamente por Heisenberg - y que coloca al físico ante una paradoja?

Imaginemos una pared con dos rendijas paralelas; en un lado de la pared una fuente lumínica y en el otro una pantalla registradora en la que aparecerá una imagen que los físicos denominan "franjas de interferencia", índice de estar en presencia de un fenómeno ondulatorio. Reduciendo la intensidad del haz

lumínica a la luz solar, que es recibida por una pantalla que tiene una rendija minúscula, de modo que la luz se difracta en todas direcciones abriéndose como un abanico. La luz difractada llega después a una pantalla con dos rendijas muy pequeñas y muy juntas entre sí. Sobre la pared aparecen bandas alternadas de claridad y sombra, probando de esta manera, el carácter ondulatorio de la luz. Young, llama "interferencia", cuando las crestas de un tren de ondas coinciden exactamente con los valles del otro tren. Cuando se trata de olas, el agua permanecerá enteramente llana, pero si se trata de ondas de luz, no habrá luz alguna. Lo contrario sucede cuando dos canales son semejantes, ya que en este caso, cuando se encuentren se sumarán, reforzando la luz.

⁵⁴ Cfr. Eisberg-Resnick - *Física Cuántica* - pag. 88 "El físico clásico no estaba preparado para descubrir que para poder entender la radiación, en algunas situaciones era necesario invocar a un modelo corpuscular (...) mientras que en otras situaciones, un modelo ondulatorio".

luminico, ya no se observaran franjas de interferencia sino pequeñas motas, indicadoras de la existencia de corpúsculos. Pero si a este haz lumínico débil se lo expone un tiempo prolongado volverán a aparecer en la pantalla las franjas de interferencia. Finalmente acontece lo absolutamente desconcertante: los experimentos con fotones o electrones muestran que la interferencia solamente aparece cuando las dos rendijas están abiertas, dado que si una de ellas está cerrada la forma de interferencia desaparece⁵⁵.

Este experimento que puede interpretarse como si el electrón o fotón "supiese" cuando las dos rendijas están abiertas o una de ellas cerrada, ha dado lugar a la famosa exclamación de Albert Einstein: "Me resulta insoportable la idea de que un electrón expuesto a la radiación elija por su propia voluntad en el momento, la dirección en que dará el salto. De ser así, preferiría ser zapatero o incluso empleado de una casa de juegos, y no un físico".

Pues bien, a este misterio responde la teoría de los quanta con un formalismo que, por lo menos hasta el momento, ningún físico ha puesto en duda. La pregunta es, si esta descripción matemática, adecuada para predecir los fenómenos en el ámbito de los quanta, también ofrece una explicación física y filosófica convincente del mismo.

Indudablemente no. Prueba de ello son los graves desacuerdos aún vigentes entre los físicos e iniciados con la famosa disputa entre Albert Einstein y Niels Bohr, cuando Bohr presenta públicamente esta teoría en el congreso de Solvay de 1927.

Previo al tratamiento de estas discusiones, centrales para una reflexión interesada en echar luz sobre las relaciones entre física y filosofía, mostramos la génesis de esta teoría, elaborada, según Heisenberg, como respuesta a las

⁵⁵ Para aquellos lectores interesados en la descripción física de estos fenómenos recomendamos

graves dificultades que los experimentos de la atomística ofrece al “sólido edificio de la física clásica”⁵⁶.



USAL
UNIVERSIDAD
DEL SALVADOR

el texto de R. Feynman, *Física*, Vol.III, pág.1-3 a 2-15

⁵⁶ La respuesta de R. Feynman a la pregunta ¿Qué se entiende por mecánica cuántica? ilustra la relación entre la cuántica y la atomística: “Es la descripción del comportamiento de la materia y de la luz en todos sus detalles y, en particular, de los acontecimientos en la escala atómica”(ob. cit. pág.1-1). Por otra parte conviene aclarar que en la actualidad se entiende por “física clásica” a la mecánica de Newton y la electrodinámica de Maxwell - Ver v.Weizäcker, Carl Friedrich; *Die Einheit der Natur*, München, Deutscher Taschenbuch Verlag, 1974, pág 229